

## МНОГОКРАТНЫЙ ТЕНЕВОЙ МЕТОД ПРИ КОНТРОЛЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

*Ключевые слова:* теневой метод, многократные отражения, электромагнитно-акустический преобразователь, цилиндрический объект.

Особенностью цилиндрических объектов особенно малых диаметров является трудность реализации применительно к ним традиционно используемых контактных ультразвуковых (УЗ) методов. Бесконтактный электромагнитно-акустический (ЭМА) многократный теневой метод благодаря возможности получения серии эхо-импульсов по диаметру (или периметру объекта) обеспечивает высокую чувствительность при дефектоскопии, стратификации, выявлении отклонений по форме и размерам объекта. Метод реализован с помощью ЭМА-преобразователей со специализированными системами подмагничивания, обеспечивающих излучение-прием объемных волн в радиальных направлениях и рэлеевских волн в направлении по периметру прутка. В работе представлены результаты численного моделирования в программной среде COMSOL Multiphysics поля вихревых токов, магнитного и акустического полей, индуцируемых катушкой индуктивности проходного ЭМА-преобразователя.

Показано, что временные, вероятностно-статистические параметры и спектральные параметры многократной серии импульсов являются информативными при наличии дефектов, при оценке структуры и напряженно-деформированного состояния металла, эллиптичности сечения прутка и отклонений по диаметру объекта.

Кроме того, исследована связь структурно-чувствительных акустических факторов (абсолютные значения скоростей продольных, поперечных и рэлеевских волн, их изменение в процессе механического нагружения, акустоупругие коэффициенты, эффективность ЭМА-преобразования) с упругими и механическими свойствами, качеством термической обработки, структурным и напряженно-деформированным

состоянием образцов пруткового проката из рессорно-пружинных, низколегированных перлитных и хромо-никелевых сталей.

Результаты испытаний метода многократной тени на прутках пружинно-рессорной стали в широком диапазоне диаметров и качества обработки поверхности показали возможность обнаружения недопустимых при производстве пружин дефектов, размеры которых меньше половины длины волны (неметаллические включения, вмятины, плены, закаты, раскатанные пузыри, загрязнения и трещины, обезуглероженный слой).

Разработанная технология контроля обладает следующими преимуществами:

- высокая чувствительность к внутренним и поверхностным дефектам;
- реализация без иммерсионной жидкости и дополнительной подготовки поверхности с обеспечением достаточно высокой производительности контроля;
- высокая достоверность и воспроизводимость результатов контроля за счет отстройки от качества акустического контакта;
- отсутствие «мертвой зоны»;
- возможность использования для контроля прутков из различных металлов и сплавов.

*Работа выполнена в рамках проекта № 15-19-00051 Российского научного фонда.*